

甘蔗茎在弯曲荷载下的破坏

刘庆庭, 区颖刚, 袁纳新

(华南农业大学工程学院, 广州 510642)

摘要: 研究甘蔗的物理力学特性对研究甘蔗切割过程, 设计刀片具有重要意义。该文采用三点弯曲方法研究甘蔗茎在弯曲荷载下的力学特性。以“桂林—1 号”甘蔗为试验材料, 在日本 SHIMADZU 公司生产的 AG-I 50 AU TO GRAPH 材料力学试验机上进行了蔗茎的弯曲试验。试验结果表明: 蔗茎在弯曲荷载下主要有 4 种破坏形式: 中性层裂纹、横向裂纹、底部纵向裂纹、不规则裂纹。其中基部和尾部试样以横向裂纹为主, 其他部位的试样产生中性层裂纹; “桂林—1 号”甘蔗基部弹性模量的平均值为 1172 N/mm^2 , 最大抗弯强度的平均值为 46.5 N/mm^2 ; 基部去掉蔗皮后, 弹性模量的平均值为 1514.8 N/mm^2 , 最大抗弯强度的平均值为 42 N/mm^2 ; 蔗茎基部的弹性模量在剥皮前后有显著差异, 且基部蔗芯的弹性模量明显高于未剥蔗皮基部的弹性模量。蔗茎基部的抗弯强度在剥皮前后无显著差异。

关键词: 甘蔗茎; 弯曲试验; 弹性模量; 抗弯强度; 破坏形式

中图分类号: S225.5⁺9

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)03-0006-04

0 引言

甘蔗是我国主要经济作物之一, 种植区域主要分布在广西、广东、海南、福建、云南等省区。我国大部分制糖成本 2700 元/t, 而巴西、美国原糖进口到我国加工成白糖的完税价分别为 2390 元/t、2470 元/t, 我国食糖价格缺乏竞争力^[1]。采用机械化生产是降低甘蔗生产成本的关键所在^[2], 甘蔗收获机械技术是制约甘蔗生产全程机械化的一个瓶颈, 也是一个关键的问题^[3]。我国实现甘蔗生产全面机械化将有广阔的前景^[4]。甘蔗收获机割茬不齐、破头率高、切割损失大, 严重影响甘蔗收获机的性能和推广应用^[5]。切割是甘蔗收获机械化过程中需要完成的主要功能, 直接关系到收获过程中的甘蔗损失和宿根的质量, 从而进一步影响到甘蔗来年的发芽及生长情况^[6]。国外学者进行了根切器运动学分析^[7], 试验研究了切割力和切割能量以及锯齿刃口与光刃口对切割质量的影响^[6,8,9]。国内学者试验研究了根切器运动参数、几何参数对根茬破头率的影响^[10,11]。华南农业大学承担的 948 课题“小型甘蔗收获和剥叶鞘机具及技术研究”和广东省科技攻关项目“小型甘蔗收割剥叶机具研究”试制了三代样机并进行了大量的试验研究。未见到结合甘蔗物理力学特性进行甘蔗切割机理的报导。甘蔗是各向异性、非匀质、非线性的材料。研究甘蔗的物理力学特性对了解甘蔗切割过程, 设计刀片具有重要意义。国内外学者对甘蔗物理力学特性进行了研究^[12], 但未见弯曲试验的报导。甘蔗茎的弯曲性能, 对甘蔗在被切割时的破坏过程以及甘蔗的抗倒伏性能都有重要影响。本文测定了甘蔗茎的弯曲弹性模量、抗弯强度, 观察了甘蔗弯曲破坏形式, 并进行了相应的分析。

1 试验材料、设备与方法

收稿日期: 2003-11-24 修订日期: 2004-02-16

作者简介: 刘庆庭(1967-), 男, 河南新乡人, 高级工程师, 博士生, 广州市五山 华南农业大学工程学院, 510642

通讯作者: 区颖刚, 教授, 博士生导师, 广州市五山 华南农业大学工程学院, 510642。Email: Ouyinggang@yahoo.com

试验材料采用华南农业大学试验农场种植的甘蔗, 品种: 桂林—1 号。种植日期: 2001 年 12 月。行距: 1.4 m。甘蔗取回后, 去叶、去毛根, 用水将甘蔗外表清洗干净。试样要求通直、无虫害。

将蔗茎从基部开始, 以两节为一个试样用钢锯截取。基部试样定义为地面下第一节蔗茎和地面上第一节蔗茎组成的试样。基部试样的茎秆部位值为 1, 其余试样茎秆部位值依次增加, 如图 1。分别测量每节两端靠近节部的两个方向的 4 个直径值和每节的长度。以两节上的 8 个直径尺寸的平均值作为试样的平均直径。对整秆甘蔗的各段进行弯曲试验。对于基部段, 分别对剥去蔗皮和未剥蔗皮的试样进行了试验。

试验在日本 SHIMADZU 公司生产的 AG-I 50 AU TO GRAPH 材料力学试验机上进行。加载采用三点弯曲方法, 如图 2, 支点距离为 100 mm, 下支点圆柱直径为 15 mm, 上支点圆柱直径为 8 mm。选择试验机量程为 2000 N, 荷载传感器精度为 0.1 N, 位移传感器测量精度为 0.001 mm, 自动采样时间间隔为 0.05 s。加载速度为 12 mm/m in。

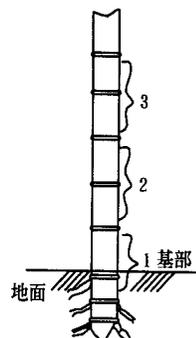


图 1 蔗茎试样的截取
Fig. 1 Samples from sugarcane stalk

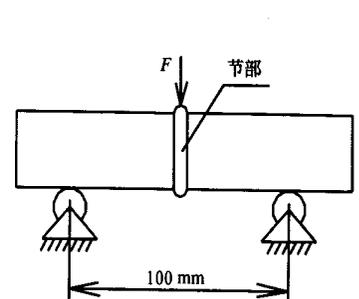


图 2 弯曲加载原理图
Fig. 2 Method of bending load

在与上、下支点接触处的甘蔗表皮上涂一层石蜡, 以减少甘蔗与支点圆柱之间的摩擦。为了减少在加载过程中, 甘蔗受压产生局部压入变形, 上压头接触位置选

在甘蔗茎的节处。

2 整秆分段试验

2.1 试验过程

采集 12 株甘蔗, 制作了 141 个试样进行弯曲试验, 以分析同株甘蔗不同节间弹性模量、抗弯强度的变化。试验数据通过 A G-I 50 A U T O G R A P H 材料力学试验机配套的 T R A P E Z I U M 软件进行处理, 计算弹性模量选取的计算点为荷载 F 等于 100 N 和 300 N 的两个点。

2.2 试验结果

图 3 是 12 株甘蔗不同部位茎秆的弯曲试验结果 (两节为一个试样), 横坐标为从蔗茎基部至尾部依次取样的试件所处的部位值。图中数据为相应部位 12 个试样的平均值及其标准差值。试蔗采样日期为 2002 年 12 月 13 日, 对试样及时进行处理并在当天进行弯曲试验。从图中可以看出蔗茎基部直径虽然小, 但其弹性模量和抗弯强度最大。从基部至尾部弹性模量、抗弯强度呈显著下降趋势。蔗茎中部及上部各节间的弹性模量、抗弯强度变化不大。这和蔗茎基部基本组织木质化严重, 纤维含量高是相一致的, 也与甘蔗生长过程中抗倒伏性能相适应。

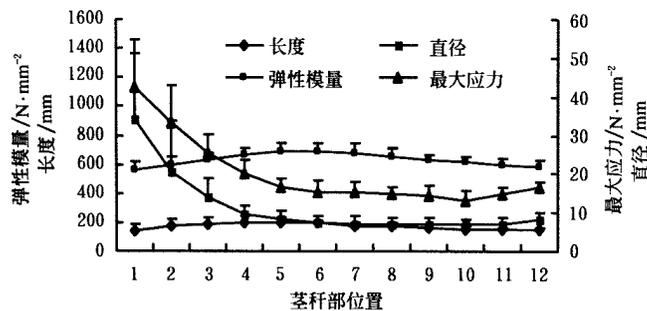


图 3 不同部位蔗茎秆的力学特性值

Fig 3 Mechanical properties of samples from different positions of sugarcane stalk

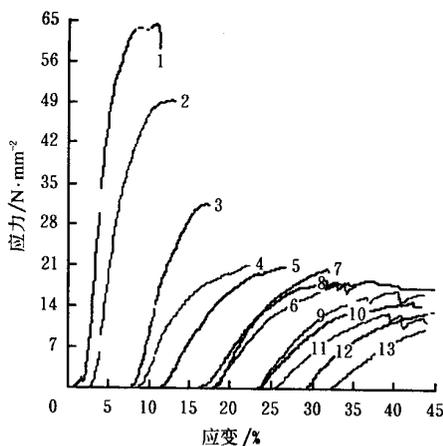


图 4 不同部位试样弯曲应力应变曲线

Fig 4 Strain-stress curves of samples from different positions of the stalk under bending load

图 4 是某一株试蔗相应于不同茎秆部位各试样的弯曲应力应变曲线图。从图中可以看出靠近基部的试样在弯曲荷载下, 其线性范围比较大, 靠近中部和尾部的试样线性范围很小, 非线性范围大。这是因为基部蔗茎的基本组织木质化严重, 纤维含量高^[3], 而靠近中部和尾部甘蔗的基本组织内贮存有大量的液体。高木质化的基本组织具有较高的抵抗变形的能力和较好的线弹性, 而含有大量液体的基本组织抵抗变形的能力较弱并表现为非线性。

2.3 破坏形式

同一株甘蔗不同部位的试样在弯曲试验中表现出不同的变形和破坏形式。中部和尾部的试样在与压头的接触处以及两端的支撑处产生较大的局部变形, 形成较大的凹陷。基部的试样凹陷的较小。达到最大弯曲应力时, 观察到的甘蔗弯曲破坏形式主要有以下 4 种 (图 5a、b、c、d)。

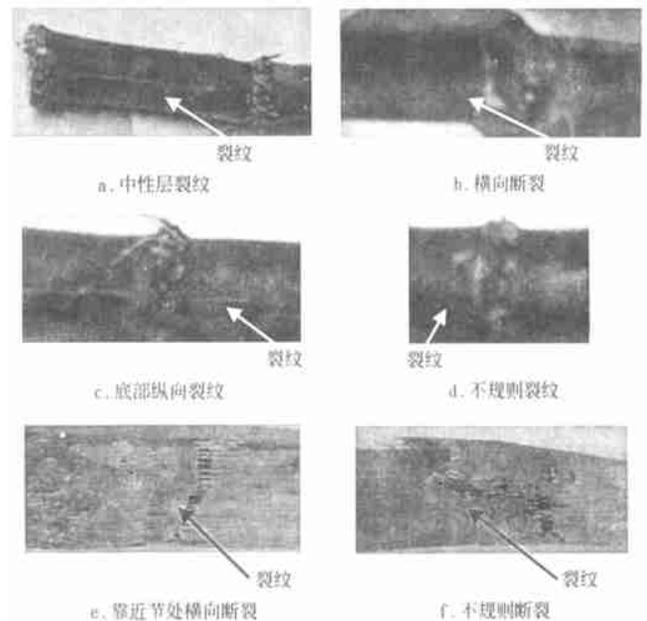


图 5 弯曲破坏形式

Fig 5 Failure forms under bending load

1) 中性层处产生裂纹 (图 5a)

圆形截面梁在弯曲荷载下, 最大剪应力位于中性层处, 沿试样长度方向产生中性层裂纹。再进一步施加荷载时, 中性层被剪开。

2) 靠近节处产生横向断裂 (图 5b)

在弯曲荷载下, 当采用图 2 所示的加载方法时, 靠近节处的最大弯曲应力首先达到破坏强度而产生断裂。

3) 蔗茎底部轴向产生裂纹 (图 5c)

和中性层裂纹不同的是在弯曲过程中在底部产生轴向裂纹。这应该与在弯曲过程中甘蔗芯部产生较大的塑性变形而造成对甘蔗表皮的挤压有关系。

4) 蔗茎节部附近产生不规则形状的裂纹 (图 5d)

这是上述几种情况的综合表现, 也反映了蔗茎材料的复杂性。

在本试验条件下, 各种破坏形式在蔗茎各部位试样

段中发生的比例如表 1。

表 1 各种破坏形式在各生长部位试样段中发生的比例

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
中性层裂纹	25.6	55.5	100	100	100	100	100	100	100	100	36.4	18.2
横向裂纹	69.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63.6	81.8
底部纵向裂纹	2.3	45.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
不规则裂纹	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3 蔗茎基部(带蔗皮)与基部蔗芯(剥去蔗皮)弯曲试验

甘蔗收获机械切割甘蔗的部位在甘蔗的基部,所以有必要重点研究蔗茎基部的力学特性。选取基部第一、二节蔗茎作为基部试样。准备蔗芯试样时,用蔗皮刀剥去约 1 mm 厚的蔗皮。

3.1 试验结果

未剥蔗皮基部试样 43 个,试验结果为:试样的平均直径为 17.7 mm,标准差为 1.339 mm;弹性模量平均值 1172 N/mm²,标准差为 353.75 N/mm²;抗弯强度的平均值为 46.5 N/mm²,标准差为 7.72 N/mm²。

剥去蔗皮后的基部蔗芯试样 49 个,弯曲试验结果为:试样的平均直径为 16.5 mm,标准差为 1.580 mm;弹性模量平均值 1514.80 N/mm²,标准差为 550.55 N/mm²;抗弯强度的平均值为 42 N/mm²,标准差为 11.93 N/mm²。

对基部蔗芯(剥去蔗皮)试样与基部(未剥蔗皮)试样的弹性模量和弯曲强度的分别进行独立样本 *t* 检验。*t* 检验结果表明:

1) 甘蔗基部的弹性模量在剥皮前后, *F* 值的相伴概率值 0.023 小于显著性水平 0.05, 拒绝方差相等的零假设, *t* 统计量的相伴概率值 0.001 小于显著性水平, 拒绝 *t* 检验的零假设, 可以认为剥皮前后的弹性模量有显著差异。

2) 甘蔗基部的抗弯强度在剥皮前后, *F* 值的相伴概率值 0.069 大于显著性水平 0.05, 不能拒绝方差相等的零假设, *t* 统计量的相伴概率值 0.001 小于显著性水平, 不能拒绝 *t* 检验的零假设, 可以认为剥皮前后的抗弯强度无显著差异。

3.2 破坏形式

蔗芯的弯曲破坏形式主要有靠近节处横向断裂和不规则断裂两种, 图 5e、f。由照片可以看出断裂时甘蔗维管束被拉断, 有很明显的维管束从基本组织中抽出现象。

4 讨论与分析

1) 蔗茎在弯曲荷载下的破坏形式比较复杂, 这是蔗茎材料组织结构的复杂性的表现, 反映出了蔗茎材料各项异性的特点。弯曲弹性模量、弯曲强度的均方差都很大, 反映出了甘蔗个体之间的差异很大。

2) 在弯曲荷载下, 蔗茎基部试样产生横向裂纹的原因是基部维管束间的基本组织的木质化程度很高, 蔗芯抵抗弯曲变形的能力比较大, 使得整个蔗茎产生横向裂纹的可能性增加。蔗茎尾部(生长部位 11、12)试样产生横向裂纹的原因是, 尾部试样比较脆。

3) 蔗茎基部的弹性模量在剥皮前后有显著差异, 且基部蔗芯的弹性模量明显高于未剥蔗皮基部的弹性模量。这是由于蔗皮本身的特性和基部茎秆的组织结构特点决定的。蔗茎表皮以内至边缘的小型维管束环合称为蔗皮^[3]。蔗皮的韧性比较好, 从蔗茎基部取下的蔗皮可以有很大的弯曲变形而不破坏。蔗茎基部维管束间的基本组织的木质化程度很高。这样, 在弯曲变形中, 蔗皮因其本身的韧性比较大而对弹性模量的贡献不大, 并且蔗皮还有增加甘蔗基部韧性的作用, 使得甘蔗基部剥去蔗皮前的弹性模量小于剥去蔗皮后的弹性模量。

4) 蔗皮纵向的抗拉强度大于蔗芯纵向的抗拉强度(已经在后续的试验中进行了测定), 所以蔗皮的存在可以增加蔗茎的抗弯强度。剥去蔗皮后的蔗茎基部试样的抗弯强度总体上应该低于未剥蔗皮的蔗茎基部试样。但试验结果表明甘蔗基部的抗弯强度在剥皮前后无显著差异。分析其原因, 蔗茎基部未剥蔗皮的试样在弯曲过程中会出现在 2、3 中提到的各种破坏形式。而除了在节附近断裂的情况外, 其它三种破坏形式都没有体现出蔗皮纵向抗拉强度大的优点。而去掉蔗皮后试样的破坏形式基本属于在节附近横向断裂。基部茎秆内基本组织木质化程度高, 使去掉蔗皮后蔗芯仍能承受较大的弯曲载荷。

5 结论

1) 试验用的“桂林-1号”甘蔗, 基部未去掉蔗皮前: 弹性模量的平均值为 1172 N/mm², 最大抗弯强度的平均值为 46.5 N/mm²。基部去掉蔗皮后: 弹性模量的平均值为 1514.8 N/mm², 最大抗弯强度的平均值为 42 N/mm²。

2) 蔗茎基部的弹性模量在剥皮前后有显著差异, 且基部蔗芯的弹性模量明显高于未剥蔗皮基部的弹性模量。蔗茎基部的抗弯强度在剥皮前后无显著差异。

3) 蔗茎在弯曲荷载下的四种破坏形式: 中性层裂纹、横向裂纹、底部纵向裂纹、不规则裂纹。其中基部和尾部试样以横向裂纹为主, 其他部位的试样产生中性层裂纹。

[参 考 文 献]

- [1] 何礼新, 伍勤忠. 蔗糖业应在稳定中发展[J]. 广西农业学报, 2003, 3: 35- 38
- [2] 李明, 邓干然, 梁 栋. 我国甘蔗生产机械的现状与问题探讨[J]. 农村机械化, 1999, 5: 15
- [3] 黄明洲. 在全国甘蔗生产机械化与产业化研讨会上的讲话[J]. 广西农业机械化, 2002, 6: 4- 6
- [4] 区颖刚, 张亚莉, 杨丹彤. 甘蔗生产机械化系统的试验和分析[J]. 农业工程学报, 16(5): 74- 77.
- [5] 刘楚强. 整秆式甘蔗收获机的研发现状及展望[J]. 广西蔗糖, 2002, (4): 21- 22
- [6] Roberto da cunha mello, Harry harris. Cane damage and mass losses for conventional and serrated basecutter blades[A]. Proc Aust Soc Soc Sugar Cane Technol 22 [C]. 2000, 84- 91.
- [7] Moses Frank Oduori, Jun Sakai, Gupta C P. Kinematics of revolving-knife disk-type sugarcane basecutter-1 [J]. AMA, 1992, 23(4): 9- 15
- [8] Kroes S, Harris H D. Variation of cutting energies along a sugarcane internode[A]. Conference on Engineering in Agriculture and Food Processing[C]. Held University of Queensland, Gatton College, Lawes 1996. Agricultural-Engineering-Australia, 1996, 25: 3, 55
- [9] Kroes-S, Harris H D. The specific splitting energy of sugarcane[A]. Proceedings of the 1998 Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists held at Ballina[C], NSW, Australi 1998: 349- 356
- [10] 王汝贵, 杨 坚, 梁兆新, 等. 甘蔗收割器工作参数试验优化研究[A]. 农业机械学会 2003 年会[C]. 2003
- [11] 蒙必胜. 甘蔗收割机参数对甘蔗破头率的影响机理探讨[A]. 农业机械学会 2003 年会[C]. 2003
- [12] 泉裕巳, 秋永孝义, 国府田佳弘. 甘蔗收获机基础研究[J]. 农业机械学会志, 1980, 42(1): 69- 74
- [13] 苏广达, 叶振邦, 吴伯全, 等. 甘蔗栽培生物学[M]. 北京: 轻工业出版社, 1983, 16- 20

Bending load induced failure forms of sugarcane stalks

Liu Qingting, Ou Yinggang, Yuan Naxin

(College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: It is important to study the mechanical properties of sugarcane stalks for understanding the process of cutting sugarcane and designing blades. "Three point bending experiments" were conducted to study the mechanical properties of sugarcane under bending load. The experiments were conducted for the variety "Gulin-1", using the equipment of "AG-I 50 AUTOGRA PH", made by the CO. of SH MADZU. The results are as follows: 1) Under bending load, sugarcane stalks have four failure forms: breaking at neutral layer, transverse breaking, breaking at axial direction under bottom, and irregular breaking. Samples from base or tail of sugarcane stalk mainly present transverse breaking, others present breaking at neutral layer. 2) For the variety "Gulin-1", the averages of Yong's modulus and bending strength of sugarcane stalks at base position are 1172 N/mm^2 and 46.5 N/mm^2 , respectively. After peeled, they are 1514.8 N/mm^2 and 42 N/mm^2 , respectively. 3) The Yong's modulus of sugarcane stalks at base position has distinct difference when the stalk is peeled, and it is larger than the values without peeling. The bending strength of sugarcane stalks at base position does not have distinct difference between the peeled stalk and one without peeling.

Key words: sugarcane stalks; bending experiment; Yong's modulus; bending strength; failure forms